

CLASIFICACIÓN DE LA PIEDRA DE MARMOL MEDIANTE MORFOLOGÍA MATEMÁTICA EN COLOR

Francisco Ortiz, Juan A. Corrales, Fernando Torres
Grupo de Automática, Robótica y Visión Artificial
Dpto. Física, Ingeniería de Sistemas y T. Señal. Universidad de Alicante
Ap. Correos 99, 03080 Alicante
fortiz@ua.es, jacr5@alu.ua.es, fernando.torres@ua.es

Resumen

En este artículo se presenta un estudio sobre la clasificación de piezas de piedra natural de mármol mediante el uso de la morfología matemática en imágenes en color. Se mostrará la utilidad de las granulometrías en este campo, una vez ha sido extendida su definición a imágenes en color.

Palabras Clave: morfología matemática en color, granulometrías, clasificación de mármol.

1 INTRODUCCIÓN

En el marco de la industria del mármol, se puede afirmar que se presenta un uso cada vez mayor de automatización proporcionada por robots para las tareas de manipulación de materia prima (bloques de pesados de piedra natural). Sin embargo, raramente emplea de productos de inspección visual automatizada. Actualmente, la clasificación de los diferentes tipos naturales de piedra de mármol se realiza mediante un proceso totalmente manual. El operario u operarios encargados de esta labor, eligen el destino de las piezas de mármol procedentes de la cadena de producción hacia una u otra línea de clasificación, según diferentes patrones visuales como el color, las formas geométricas, la textura, etc. Este proceso se realiza generalmente como última etapa de producción. La labor realizada por el operario conlleva dos problemas fundamentales:

- Criterio de clasificación subjetivo.
- Fallos por cansancio o fatiga del trabajador.

Algunas empresas del sector han apostado en los últimos años por la introducción de sistemas automáticos de inspección visual, sin embargo, la experiencia ha demostrado el fallo de sistemas de inspección comerciales genéricos en la clasificación

del mármol. En este sentido, es necesario destacar que no existen en la naturaleza dos piezas de piedra natural de mármol iguales. Las piezas que pertenecen a un mismo tipo o patrón van a diferir ligeramente en coloración, figuras y formas internas (dibujo y tamaño), en consecuencia, un sistema no dedicado no es el más idóneo para la clasificación.

El objetivo concreto de la investigación aquí mostrada es conseguir, mediante las técnicas de morfología matemática de la visión artificial, un sistema prototipo que sea capaz de detectar las diferentes clases de mármol existentes en la actualidad. Concretamente, la investigación se centrará en lograr una clasificación automatizada de piezas de mármol en función de unos patrones previamente detectados.

2 EL MARMOL

2.1 TIPOS DE MARMOL

El sistema desarrollado emplea muestras del mármol típico de la provincia de Alicante, el mármol *Crema Marfil*. Dentro de este tipo de mármol, se pueden destacar tres variedades que se diferencian en la calidad y la estructura del mármol: *Clásico*, *Avant* y *Ocean*. A continuación, se muestra una imagen de cada una de estas variedades, indicando sus principales características:

- **Clásico:**

El fondo de las losas es bastante uniforme, de color beige claro. Sus vetas son muy tenues y casi imperceptibles por lo que se refiere a su dimensión y a la forma, incluso hasta pierden el leve contraste con el único color dominante (el del fondo). Ésta es la variedad de mármol con mayor calidad (figura 1).



Figura 1. Muestra de mármol "clásico".

- **Avant:**

Esta variedad se caracteriza por tener un color de fondo menos uniforme que el mármol *Clásico*. Esto se debe a la existencia de una gran cantidad de pequeños fragmentos (o gránulos) de colores distintos (blancos y grises) al color de fondo. Presenta vetas muy pequeñas y tenues (figura 2). Es de calidad inferior al *Clásico*.



Figura 2. Muestra de mármol "avant".

- **Ocean:**

Este mármol posee un color de fondo muy uniforme, prácticamente sin ningún gránulo (al igual que el *Clásico*). Sin embargo, su principal diferencia es la existencia de grandes vetas de colores rojizos y marrones

(figura 3). Este mármol es de calidad intermedia, entre el *Clásico* y el *Avant*.



Figura 3. Muestra de mármol "ocean".

Observando las principales diferencias entre estas tres variedades de mármol, podemos deducir que sus características o patrones distintivos son: la granulosis y las vetas. Al detectar con un sistema de visión la existencia de estas características, podremos determinar la variedad a la que pertenece una determina piedra de mármol Crema Marfil.

3 GRANULOMETRÍAS

3.1 CONCEPTO DE GRANULOMETRÍA

Para la detección de los gránulos en el mármol (pequeños fragmentos de color distinto al del fondo) se empleará el concepto de *granulometrías* de la Morfología Matemática. El método granulométrico, descubierto por Georges Matheron, constituye un método morfológico para la caracterización de imágenes granulares a través de un proceso de criba (o tamizado) mediante detección de tamaños y formas. Este método es efectivo para el análisis de la textura y la forma en aplicaciones relacionadas con detección de partículas o gránulos, como es nuestro caso.

Formalmente, una *granulometría* puede ser definida como un conjunto de aperturas Γ de una imagen f con elementos estructurantes Λ_b de tamaños cada vez mayores ($\lambda > 0$). B es el elemento estructurante original (denominado *generador de la granulometría*) y λ es un parámetro que determina el tamaño de dicho elemento estructurante en cada apertura.

$$\Gamma = \{\gamma_{\lambda B}(f) \mid \lambda > 0\} \quad (1)$$

Las granulometrías por cierre (o *anti-granulometrías*) se pueden definir como un conjunto de cierres con elementos estructurantes de tamaños crecientes.

Para interpretar las granulometrías haremos uso de las curvas granulométricas. Estas curvas nos permitirán caracterizar la granulosidad de la imagen estudiada. Existen dos tipos de curvas granulométricas, la distribución de tamaño y el espectro de patrón.

3.1.1 Distribución de tamaño (*size distribution*)

Esta distribución muestra la evolución del área/volumen Ω_λ de las aperturas $\gamma_{\lambda B}(f)$ respecto al parámetro λ . El área/superficie de una imagen binaria es equivalente al número de píxeles blancos (píxeles de objetos). El volumen de una imagen en escala de grises es equivalente a la suma de los valores de intensidad de todos los píxeles. La función de área Ω_λ es decreciente para las granulometrías (por apertura) y creciente para las anti-granulometrías (por cierre). También se podrá definir la distribución de tamaño normalizada Φ_λ , dividiendo el área/volumen de cada apertura por el área/volumen de la imagen original ($\lambda=0$):

$$\Phi_\lambda = \Omega_\lambda / \Omega_0.$$

3.1.2 Espectro del patrón (*pattern spectrum*)

Con este espectro se indica la ganancia/pérdida de área/volumen entre Ω_λ y $\Omega_{\lambda+1}$ respecto al parámetro λ : $d\Omega_\lambda = \Omega_\lambda - \Omega_{\lambda+1}$. También se podrá definir el espectro del patrón normalizado $d\Phi_\lambda$, dividiendo el espectro del patrón por el área de la imagen original ($\lambda=0$): $d\Phi_\lambda = \Phi_\lambda - \Phi_{\lambda+1}$.

3.2 GRANULOMETRÍAS EN COLOR

Al emplear imágenes en color de piezas de mármol, se deben extender los conceptos de la morfología de grises a imágenes en color. Son numerosas las investigaciones en este campo y todas concluyen en con el tratamiento vectorial de los pixels cromáticos. Independientemente del espacio de color elegido, cada píxel está compuesto por tres valores que se emplearán en una estrategia de ordenamiento para poder operar morfológicamente. En nuestro caso vamos a emplear el orden lexicográfico consistente en dar cierta prioridad a unas componentes del vector de color frente a otras.

Dentro del orden lexicográfico podemos destacar dos ordenaciones de componentes, por un lado, matiz – intensidad – saturación, que podemos denominar retículo orientado a matiz y, por otro lado, el retículo orientado a intensidad, cuya ordenación está guiada por intensidad – matiz – saturación. Otorgamos a la saturación la menor prioridad al ser un valor muy inestable.

Por otra parte, para obtener valores granulométricos con imágenes en color tendremos que extrapolar el concepto de “volumen” de las imágenes en escala de grises a las imágenes en color. Recordemos que el volumen de las imágenes en escala de grises es la suma de los valores de intensidad de todos sus píxeles. Este concepto también podemos aplicarlo a las imágenes en color si conseguimos reducir a un único valor las tres componentes de cada píxel de una imagen en color. Para ello, vamos a realizar una combinación de los bits de las tres componentes de cada píxel teniendo en cuenta el orden lexicográfico establecido: *bit-mix approach* (aproximación por combinación de bits). Suponiendo que cada componente de un píxel se representa mediante 1 byte (8 bits), construiremos un número de 24 bits, reflejando la prioridad de las componentes según el orden lexicográfico. Es decir, los 8 bits más significativos serán los de la componente con mayor prioridad; los 8 bits intermedios serán los de la componente con prioridad intermedia; y los 8 bits menos significativos serán los de la componente con menor prioridad.

Una vez calculadas las curvas anteriores (distribución de volumen y los espectros de patrón) hemos observado en nuestro estudio que los valores obtenidos son muy similares entre diferentes muestras de mármol y necesitamos una medida objetiva y no visual que nos permita descartar un tipo de mármol (por su granulosidad) del resto. Las distancias granulométricas serán empleadas para tal fin.

4 DISTANCIAS GRANULOMÉTRICAS EN COLOR. DETECCIÓN DE GARNULOS

Para poder determinar si una losa de mármol pertenece más a una determinada variedad de mármol que a otra, tendremos que definir una métrica de distancia basada en las granulometrías. Mediante esta métrica, obtendremos un valor numérico que representará la distancia entre las granulometrías de la imagen a clasificar y las granulometrías de un determinado patrón (imagen modelo de una determinada variedad de mármol). De este modo, una

imagen de mármol pertenecerá a la variedad de mármol con la que presente una distancia granulométrica menor.

Supongamos que disponemos de las curvas granulométricas C_f y C_g (distribución de tamaño o espectro del patrón) de dos imágenes f y g . La distancia granulométrica d entre ambas imágenes será igual a la distancia euclídea entre todos los valores de ambas curvas:

$$d = \sqrt{\sum_{\lambda=-n}^n (C_f(\lambda) - C_g(\lambda))^2} \quad (2)$$

El parámetro λ oscila entre valores negativos hasta valores positivos ya que se tienen en cuenta tanto las curvas de granulometrías (valores positivos de λ) como las curvas de anti-granulometrías (valores negativos de λ). Sin embargo, también será posible utilizar métricas de distancias basadas sólo en granulometrías o basadas sólo en anti-granulometrías.

El tamaño de la piedra analizada así como la distancia de la cámara y su focal determinarán gran número de parámetros de las operaciones morfológicas implicadas en la clasificación del mármol. En este caso, las losas de mármol tienen una medida de 50x50cm y la cámara está situada a 50cm (focal 0.5).

Realizando el estudio con una gran variedad de muestras, se puede afirmar que las mejores medidas de distancia son las que combinan tanto las granulometrías por cierre como por apertura. En concreto, los espectros del patrón (pattern spectrum) son los que dan valores más diferenciados y permitirán una mejor clasificación.

Para comenzar el proceso, primero se calcularán las distancias granulométricas entre cada par de imágenes de mármol. Analizando las distancias obtenidas, podremos determinar los umbrales de distancia mínima para considerar que una losa de mármol es de la variedad *avant* o de otras. Las distancias granulométricas se obtendrán comparando los espectros del patrón normalizados, y calculados mediante el modelo de color HLS y los órdenes lexicográficos: retículo orientado a matiz (HLS) y retículo orientado a intensidad (LHS). Utilizaremos las distancias de las granulometrías por apertura y cierre de manera conjunta, tal y como hemos indicado anteriormente. Para calcular estas distancias utilizaremos las granulometrías hasta un tamaño máximo $\lambda=10$ (elemento estructurante de tamaño $2 \cdot 10 + 1 \times 2 \cdot 10 + 1 = 21 \times 21$). En la tabla 1 se pueden observar las medidas de distancia obtenidas entre una muestra significativa de diferentes clases de mármol.

Imágenes	Distancia Granulométrica con orden HLS	Distancia granulométrica con orden LHS
Avant1 – Avant2	0.031569	0.00354619
Avant1 – Clasico1	0.0715655	0.0119886
Avant1 – Clasico2	0.056893	0.00901975
Avant1 – Ocean1	0.0172762	0.00669839
Avant1 – Ocean2	0.0707183	0.00735278
Avant2 – Clasico1	0.0873705	0.0149655
Avant2 – Clasico2	0.0776637	0.0119251
Avant2 – Ocean1	0.0380191	0.0100516
Avant2 – Ocean2	0.0745119	0.0104731
Clasico1 – Clasico2	0.0243971	0.00446442
Clasico1 – Ocean1	0.0724335	0.00590798
Clasico1 – Ocean2	0.139106	0.0051429
Clasico2 – Ocean1	0.054708	0.00397708
Clasico2 – Ocean2	0.120256	0.00442605
Ocean1 – Ocean2	0.0684995	0.00219976

Tabla 1: Distancias granulométricas en color entre diferentes tipos de mármol crema marfil.

Observando los valores obtenidos, comprobamos que es posible determinar si una muestra de mármol es de tipo *avant* empleando las distancias granulométricas. En particular, para determinar si una muestra de mármol es de tipo *avant* se comprueba si su distancia granulométrica al patrón del mármol *avant* (imagen *avant1* o *avant2*) es inferior a una medida o umbral de seguridad, establecido en nuestras pruebas en 0.0045 (utilizando el orden lexicográfico LHS - *orientado a intensidad*). La distancia entre las dos muestras de *avant* (0.00354619) es inferior a esta cota y la distancia entre cualquier muestra *avant* y una muestra de otro tipo es superior a este umbral.

Este criterio será el que utilicemos para clasificar una muestra de mármol como *avant*. Si la distancia entre la muestra a clasificar y el patrón de *avant* es superior al umbral de 0.0045, podremos concluir que la muestra no es de tipo *avant*. En tal caso, tendremos que verificar si es una muestra de mármol *ocean* o de mármol *clásico*. Para clasificar una muestra en *ocean* o *clásico*, podríamos comprobar sus distancias granulométricas respecto a los patrones de ambos tipos de mármol, tal y como hemos hecho con *avant*. Sin embargo, en este caso, los valores de granulometría no son tan concluyentes ya que los gránulos no son el rasgo distintivo de estos tipos de mármol. Por ello, detectaremos la característica que diferencia más a estos dos tipos de mármol: las vetas.

5 DETECCIÓN DE VETAS

Tal como hemos indicado en el apartado anterior, si determinamos que una muestra de mármol no es de tipo *avant* (porque no tiene la suficiente granulometría), tendremos que clasificarla como

ocean o *clásico*. Los mármoles *ocean* se caracterizan por poseer vetas de gran tamaño y muy definidas. Los mármoles *clásicos*, sin embargo, se caracterizan por no presentar vetas o ser éstas muy tenues y casi imperceptibles. Por ello, si conseguimos detectar las vetas de una imagen de mármol, podremos clasificarla como *ocean* (si un amplio conjunto de sus píxeles pertenecen a vetas) o como *clásico* (si posee pocos píxeles que pertenezcan a vetas). Los pasos de la segunda fase del análisis de clasificación, junto a los parámetros empleados, se muestran a continuación:

- Transformación de imagen en color en imagen de grises: se emplea el canal *L* del espacio HLS.
- Top-hat por cierre: se resaltarán las vetas de la imagen, (EE 25x25).
- Binarización: se eliminan los píxeles ruidosos del fondo, (Umbral de 25).
- Apertura por área: se eliminan aquellos elementos conexos que no poseen un área superior a un determinado umbral (EE 25x25 y área mínima de 2000 píxeles).

Con estos pasos obtendremos una imagen binaria en la únicamente destacarán las vetas. Si el porcentaje de píxeles detectados es superior a un cierto umbral podemos clasificar dicha muestra como mármol *ocean* (figura 4). En nuestra investigación, el umbral óptimo se ha fijado en un 1%. Si el porcentaje de píxeles detectados es inferior a este umbral, la muestra de mármol se clasificará como *clásico*.

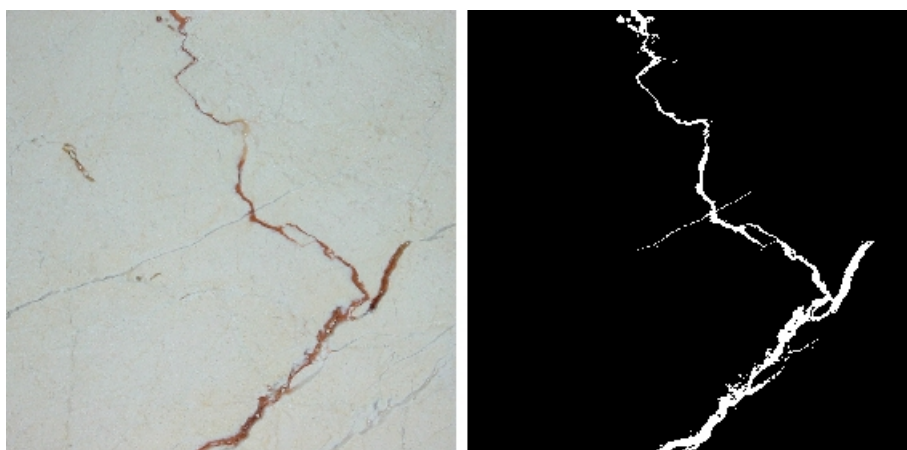


Figura 4. Detección de vetas en mármol “ocean”.

6 ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN

Para poder clasificar una muestra de mármol, emplearemos tanto las distancias granulométricas como la detección de vetas. La distancia granulométrica será usada para determinar si una muestra de mármol es de tipo *avant*. La detección de vetas servirá para determinar si una muestra de mármol es de tipo *ocean*. Si la muestra de mármol no tiene ni gránulos ni vetas, será clasificada como *clásico*.

El algoritmo en pseudocódigo es el siguiente:

SI (distancia (PatternSpectrum, LHS, muestra, patrón_ *avant*) ≤ 0.0045)

// La muestra es de tipo *avant*.

SINO

SI (porcentajePíxelesVeta(muestra) $\geq 1\%$)

// La muestra es de tipo *ocean*.

SINO

// La muestra es de tipo *clásico*.

Para implementar el algoritmo de clasificación se ha empleado la herramienta VISUAL, creando un nuevo módulo de operación OPI (*Clasificar Mármol*) que implementa la lógica aquí presentada. Este módulo recibe como entradas dos imágenes: la primera es una imagen con las distancias granulométricas entre la muestra de mármol a clasificar y el patrón del mármol *avant* y la segunda es una imagen binaria con las vetas de la muestra de mármol.

Como propiedades particulares del nuevo módulo desarrollado, podremos establecer la distancia granulométrica máxima para considerar un mármol como *avant* (0.0045 por defecto) y el porcentaje de píxeles pertenecientes a vetas para considerar un mármol como *ocean* (1% por defecto). Estos valores serán establecidos empíricamente y dependerán en gran medida de la etapa previa de adquisición de las imágenes.

El esquema de VISUAL de la figura 5 implementa el algoritmo completo de clasificación de imágenes de mármol (incluyendo los OPIs para el cálculo de las distancias granulométricas y los OPIs para la detección de las vetas).

CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado un estudio sobre la clasificación de piezas de piedra natural de mármol empleando la morfología matemática en imágenes de color. Se ha podido evidenciar la utilidad de las granulometrías en este campo, una vez ha sido extendida su definición a imágenes en color. El resto de operadores morfológicos empleados también han resultado exitosos en su labor. El porcentaje de éxito del sistema de clasificación implementado es superior al 90%.

En el futuro se pretende mejorar el módulo de granulometrías, reduciendo el tiempo de ejecución.

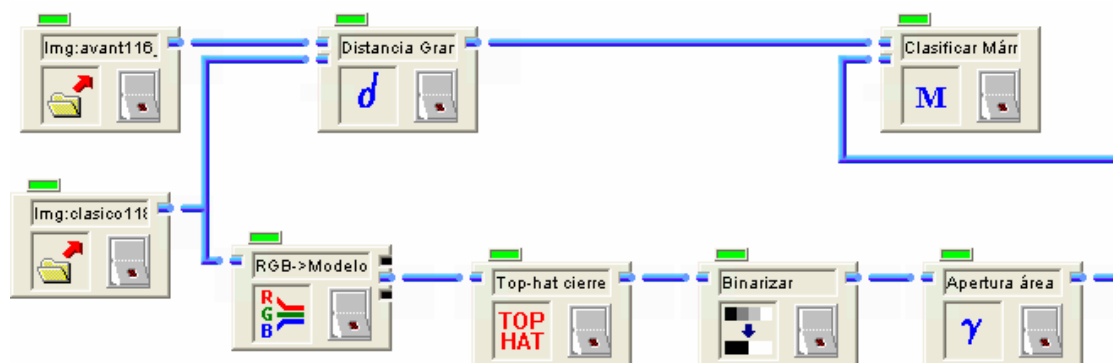


Figura 5. Esquema del algoritmo de clasificación de piezas de mármol en herramienta Visual.

Agradecimientos

Queremos agradecer a los profesores José Manuel Iñesta y María Luisa Micó, del Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Alicante, las muestras de mármol con las que se ha realizado esta investigación.

Referencias

- [1] Angulo, J., Serra, J. "Morphological Color Size Distributions for Image Classification and Retrieval", *Proceedings of ACIVS 2002* Ghent, Belgium, pp. 46-53. September 2002.
- [2] Comer, M., Delp, E. "Morphological Operations for Colour Image Processing". *Journal of Electronic Imaging*, vol. 8, nº 3. pp 279-289, 1999.
- [3] Hanbury A., Serra, J. "Morphological operators on the unit circle", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 10, no. 2, pp.1842-1850. 2001
- [4] Louverdis, G., Andreadis, I., Tsalides, P. "Morphological Granulometries for Color Images", *2nd Hellenic Conf. on AI*, 11-12 April 2002, Companion Volume, pp.333-342. Thessaloniki, Greece.
- [5] Nes, N., Cordeiro d'Ornellas, M. "Color Image Texture Indexing". *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1614, pp. 467-474, 1999.
- [6] Ortiz, F., Torres, F., Angulo, J., Puente, S. "Comparative study of vectorial morphological operations in different colour spaces", *Proc. SPIE*, vol. 4572, pp. 259-268, 2001.
- [7] Ortiz, F., Torres, F., De Juan, E., Cuenca, N. "Colour mathematical morphology for neural image analysis", *Journal of Real-Time Imaging*, vol. 8, pp. 455-465, 2002.
- [8] Ortiz, F., "Procesamiento morfológico de imágenes en color. Aplicación a la

reconstrucción geodésica", PhD Thesis, University of Alicante, 2002.

- [9] Serra, J. *Image analysis and Mathematical Morphology*. Vol I, and *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Vol II: Theoretical Advances. Academic Press, 1982 and 1988.
- [10] Soille, P. *Morphological Image Analysis. Principles and Applications*, Springer, New York. 1999.